

LED レンズ設計のための被照面での照度算出

尾上 和樹^{1,a)} 金田 和文¹ 玉木 徹¹ Bisser Raytchev¹ 菅沼 孝吉²

概要：テレビのバックライトや看板の内照に LED が用いられてる。LED の光をより広い範囲に広げつつ、照度分布を均一にさせるために LED レンズの形状を工夫する必要がある。自由曲面をもつレンズ設計をするために光線追跡シミュレーションを用いた被照面での照度算出を行った。

1. はじめに

テレビのバックライトや看板の内照に LED が用いられている。節電や費用削減の面から使用する LED の個数を減らすことや、装置の薄型化のために光をより広範囲に均一に拡散させることが重要である。従来の LED レンズの設計手法 [1][2] では複数の自由曲面を持つレンズの形状設計は困難である。

本研究では複数の自由曲面をもつレンズ設計を可能とするために光線追跡シミュレーションを用いる。レンズ設計の第 1 ステップとして光線追跡シミュレーションにより照度算出を行う。基本的な問題に対応するため軸対称なレンズで自由曲面が 1 つの場合の光線追跡シミュレーションを開発し、被照面での照度を算出する。

2. 照度算出法

本研究では、図 1 に示すモデルを対象として光線追跡シミュレーションを行う。レンズは z 軸周りに軸対称であるとする。これにより 2 次元空間で光線追跡シミュレーションを行う。レンズ外面は Bezier 曲線によりモデル化する。光源は全周方向に一樣な光度をもつ点光源、照射面は散乱面である。

照度算出の流れを図 2 に示す。光線と Bezier 曲線との交点計算には Bezier Clipping 法 [3] を用いる。Bezier Clipping 法とは、Bezier 曲線の凸包性を利用して、直線と曲線の交点を高速に求める手法である。照度計算は以下のようにして算出する。ある角度での座標 x_{i-1} と角度をずらして到達した座標 x_i から微小照射面積 ΔS_i を算出する。

$$\Delta S_i = \frac{1}{2}(x_i^2 - x_{i-1}^2) \quad (1)$$

光源から θ 方向に出射する微小放射束 $\Delta \Phi_i$ を算出する。

¹ 広島大学
² 株式会社エンプラス研究所
a) oue@eml.hiroshima-u.ac.jp

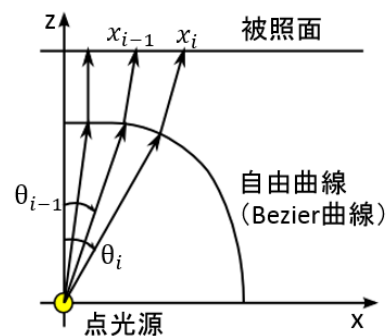


図 1 2次元空間での光線追跡シミュレーション

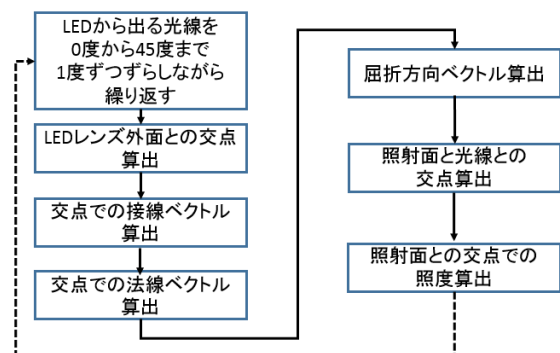


図 2 照度算出の流れ図

$$\Delta \Phi_i = I(\cos \theta_{i-1} - \cos \theta_i) \quad (2)$$

ただし、 I は光源の光度に関する定数である。被照面と光線の交点での照度 E_i を算出する。

$$E_i = \frac{\Delta \Phi_i}{\Delta S_i} \quad (3)$$

以上により照射面における入射する照度が算出される。

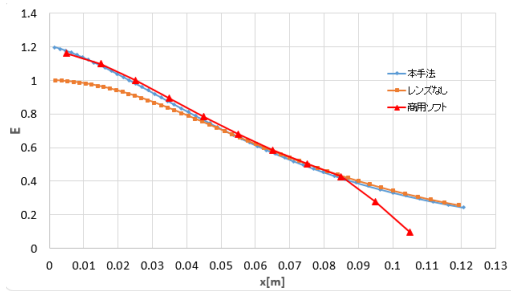


図 3 本手法と商用ソフトで計算された照度分布

3. 実験

照度算出の例としてレンズの挿入・未挿入での比較，商用ソフトとの照度計算結果の比較，レンズ形状を変化させた場合の照度分布の変化に関して検討を行った。

3.1 レンズ挿入・未挿入での照度分布の比較

LED レンズがない場合と，LED レンズを挿入した場合での，照度面での光線の到達位置，到達位置での照度を算出した．光源からの出射光線を 0 度 (z 軸方向) から，45 度まで変化させたときの照射面での照度分布を図 3 に示す．横軸は光源の真上からの距離，縦軸は LED レンズがない場合の光源真上の照度値を基準とした照度分布を示している。

図 3 より LED レンズを挿入すると，レンズがない場合に比べて，光源真上付近の照度が高くなっていることがわかる。

3.2 商用ソフトとの照度分布の比較

商用ソフトを用いて 3 次元空間で算出された照度分布と本手法で算出された照度分布を比較した．比較結果を図 3 に示す．本手法および商用ソフトで屈折率 $n = 1.5$ のレンズを挿入してシミュレーションした結果である．商用ソフトの結果は LED レンズがない場合の $x = 0.05$ の位置での照度値を基準として正規化している。

本手法により算出された照度分布と商用ソフトで算出された照度分布はほぼ一致していることがわかる。

3.3 レンズ形状を変化させたときの照度分布の変化

レンズ形状を変化させて照度分布を算出し比較を行った．結果を図 4 に示す．レンズ形状は Bezier 曲線の制御点 $C_i(x_i, z_i)(i = 0, 1, 2, 3)$ により決定している．制御点の値を変えることでレンズ形状を変化させる．制御点を変化させたときのレンズ形状を図 5 に示す．各形状の制御点を表 1 に表している．それぞれの照度の値はレンズなしでの光源真上での照度値を基準として正規化している．屈折率は全て $n = 1.5$ である．比較結果よりレンズ形状が (1) ~ (3) へと膨らんでいくほど照度分布は平坦化しているが，(4)

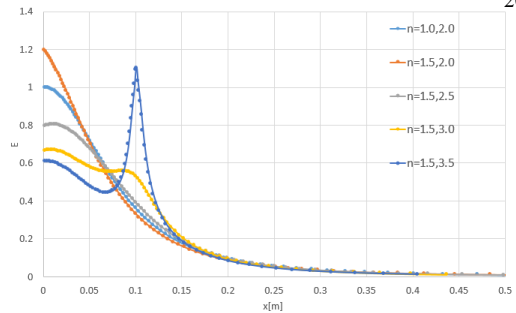


図 4 形状を変化させたときの照度分布

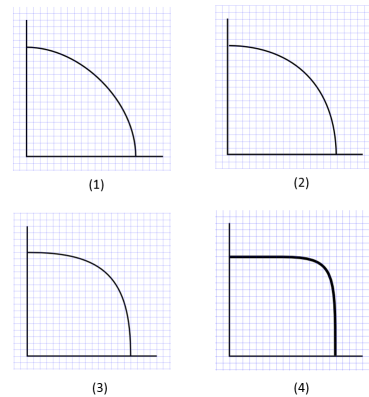


図 5 制御点を変化させたときのレンズ形状

表 1 各形状の制御点

	C_0	C_1	C_2	C_3
(1)	(4, 0)	(4, 2)	(2, 4)	(0, 4)
(2)	(4, 0)	(4, 2.5)	(2.5, 4)	(0, 4)
(3)	(4, 0)	(4, 3)	(3, 4)	(0, 4)
(4)	(4, 0)	(4, 3.5)	(3.5, 4)	(0, 4)

の場合は $x = 0.1$ 付近で照度値が非常に高くなっていることがわかる。

4. 今後の課題

今後の課題としては，レンズの内外面ともに非球面であるような複数の自由曲面を持つ場合に対応できるよう手法を拡張する．また散乱面での反射やレンズ面でのフレネル反射を考慮する．モンテカルロレイトレーシング法を導入することで光線のトレースを確率的に選択する．さらに 3 次元空間における照度算出シミュレーションへの拡張が必要になる。

参考文献

- [1] Fengzhou Fang, Ying Cheng, Xiaodong Zhang, "Design of freeform optics", Advanced Optical Technologies. Vol. 2, Issue 5-6, pp. 445-453, (2013).
- [2] Florian R. Fournier, William J. Cassarly, Jannick P. Rolland, "Designing freeform reflectors for extended sources", Efficient Design for Illumination and Solar Concentration VI, (2009).
- [3] T. Nishita, T. Sederberg, M. Kakimoto, "Ray Tracing Truncated Rational Surface Patches", Computer Graphics, Vol. 24, No. 4, pp. 337-345, (1990).